

Lehrstuhl für Grünland und Futterbau der Technischen Universität München, Freising-Weihenstephan

Zum Wasserabgabevermögen einjähriger Futterpflanzen bei Trocknung unter Dach mit verschieden stark angewärmter Luft

Rita Kammerl und U. Simon

1. Einleitung

In der Bundesrepublik Deutschland (ohne ehemalige DDR) werden nach CLAUS (1989) 40 % der aus Gras erzeugten Futtermischungen durch Trocknung haltbar gemacht. Dies entspricht jährlich einer Produktion von etwa 10 Mio. t. Heu (CLAUS, 1989). In dem Bestreben, die verlustreiche Trocknungszeit auf dem Feld zu verkürzen, ist man insbesondere in süddeutschen Grünlandgebieten vielfach zur Belüftungstrocknung von Welkgut unter Dach übergegangen (SCHÖLLHORN, 1977). Durch intensive Untersuchungen wurden Richtlinien für die technische Dimensionierung und für den sachgemäßen Betrieb von Unterdachrocknungen mit wenig bzw. stark angewärmter Luft erarbeitet (CLAUS, 1971a; 1971b). Eine sichere Durchführung dieses Verfahrens war somit gewährleistet und die Voraussetzung zur Erzielung bester Heuqualitäten gegeben. Aufgrund gestiegener Energiepreise wurde darauf aufbauend verfahrenstechnisch überprüft, inwieweit unter weitestgehender Ausnutzung atmosphärischer Luft bzw. einer nur gering angewärmten Luft die Belüftungsdauer unter Dach bis zur Grenze auftretenden Futtermittelsverderbs ausgedehnt werden kann (CLAUS, 1979; EIMER et al., 1981). Vor dem Hintergrund wechselnder Energiepreise wird nach wie vor der energiewirtschaftlich optimale Anwärmsgrad bzw. die Art der Luftvorwärmung (ELSÄSSER, 1985) diskutiert, wobei verfahrenstechnische Aspekte im Vordergrund stehen.

Untersuchungen über pflanzeneigene Einflußgrößen auf das Verfahren der Welkheubelüftung unter Dach mit verschieden stark angewärmter Trocknungsluft liegen bislang nicht vor. Ergebnisse von Trocknungsversuchen im Labor deuten aber auf beträchtliche Unterschiede im Wasserabgabevermögen von Gräser- und Leguminosenarten (HÜBNER und WAGNER, 1975; JONES und PRICKETT, 1981) und auch zwischen einzelnen Sorten von Gräsern und Leguminosen (HÜBNER und WAGNER, 1975; OWEN und WILMAN, 1983) hin. Das Wasserabgabevermögen variiert dabei mit dem Wachstumsstadium der Pflanzen (JONES, 1979; JONES und PRICKETT, 1981; u.a.) sowie mit der Temperatur der Trocknungsluft (TUNCER et al., 1970).

Ziel unserer Untersuchungen war, das art- und sortenspezifische Wasserabgabevermögen von Futterpflanzen in verschiedenen Wachstumsstadien während der Vortrocknung auf dem Feld und anschließender Endtrocknung unter Dach bei verschiedenen Temperaturen der Trocknungsluft zu prüfen. Durch systematisch angelegte Modellversuche sollte eine getrennte Betrachtung sowohl der direkten, pflanzeigenen als auch der indirekten, äußeren Einflußfaktoren auf das Trocknungsverhalten ermöglicht werden.

2. Material und Methodik

2.1 Versuchsplanung

Das art- und sortenspezifische Wasserabgabevermögen ausgewählter Feldfutterpflanzen wurde zu verschiedenen Schnitterminen in einem systematisch angelegten Modellversuch untersucht. Unter praxisüblichen Bedingungen auf dem Feld und unter Dach bei drei Trocknungstemperaturen wurde in einer ersten Versuchsserie geprüft, ob bzw. inwieweit Unterschiede im Trocknungsverhalten der Futterpflanzen überhaupt festzustellen sind. Dabei waren die Einflußfaktoren auf das erfaßte Trocknungsverhalten zu quantifizieren, um die durch die Pflanzen indirekt verursachten Unterschiede in den Trocknungsbedingungen (wie z.B. Anfangswassergehalt, Masseertrag und Lagerdichte) klären zu können. Davon ausgehend waren in einer zweiten Versuchsserie die pflanzeigenen Unterschiede im Wasserabgabevermögen der Futterpflanzen durch weitestgehende Standardisierung der erfaßten äußeren Einflußfaktoren und somit unter einheitlichen Trocknungsbedingungen zu untersuchen.

2.2 Versuchs-Trocknungsanlage

Die Trocknungsversuche unter Dach wurden auf der Versuchsanlage der Technischen Universität München in Freising-Dürnast durchgeführt. Die technische Ausstattung der Versuchs-Trocknungsanlage ermöglicht die Durchführung systematisch angelegter Modellversuche. Ein leistungstarker Radialventilator (max. Volumenstrom $9000 \text{ m}^3/\text{h}$; max. Gesamtdruckdifferenz 2400 Pa) speist 6 Gebläsekanäle mit Außenluft. Pro Gebläsekanal wird die Luftgeschwindigkeit durch verstellbare Drosselklappen reguliert. Eine Erwärmung der Trocknungsluft ist indirekt über Warmwasser aus dem Zentralheizungskessel möglich. Für jeden Gebläsekanal kann ausgehend von atmosphärischer Luft eine Temperatur der Trocknungsluft von bis zu 70°C eingestellt werden. Die Steuerung über Regelventile gewährleistet, daß die pro Gebläsekanal eingestellte Temperatur der Trocknungsluft erreicht und während des gesamten Trocknungsprozesses konstant (!) gehalten wird. Die Trocknungsluft trifft bei jedem der 6 Gebläsekanäle auf einen Düsenboden (WIENEKE, 1972), so daß ein einheitliches Ausströmen über die gesamte Grundfläche des Trocknungsbehälters von je 1 m^2 sichergestellt ist. Die Trocknungsbehälter (verzinktes Stahlblech, Fassungsvermögen 2 m^3) verjüngen sich nach unten, wodurch sich das trocknende, schrumpfende Welkgut stets an der Behälterwand anschmiegt und Luftverluste am Rande der

Schüttung vermieden werden. Verschließbare Öffnungen an den Trocknungsbehältern ermöglichen in verschiedenen Höhen die Installation von Meßsonden.

Im zeitlichen Verlauf jedes einzelnen Trocknungsversuches werden die Temperatur und relative Luftfeuchte atmosphärischer Luft, die Luftgeschwindigkeit und die Temperatur der Trocknungsluft vor Eintritt in den Trocknungsbehälter sowie die Temperatur und relative Luftfeuchte der aus dem Heustapel austretenden Trocknungsluft gemessen und registriert.

Mithilfe einer Krananlage werden die Trocknungsbehälter zum Gebläsekanal hin und weg bewegt sowie zum Entleeren gekippt. Ein in die Krananlage integriertes Wägeelement ermöglicht das Wiegen der einzelnen Trocknungsbehälter.

2.3 Trocknungsgut

Auf dem Versuchsgut Grünschwaige am Nordrand der Münchner Schotterebene (435 m) wurden im April 1987 und 1988 in Reinsaat Feldbestände von Einjährigem Weidelgras (*Lolium multiflorum* ssp. *gaudini*)

diploide Sorte "Liwelo" (Beginn Ährenschieben 71 Tage nach 1. April)

tetraploide Sorte "Aubade" (Beginn Ährenschieben 68 Tage nach 1. April)

Persischem Klee (*Trifolium resupinatum*), iranisches Handelssaatgut

Alexandrinerklee (*Trifolium alexandrinum*), Sorte "Sacromonte"

angesät. Das Einjährige Weidelgras erhielt zum 1., 2. und 3. Aufwuchs jeweils 50, 70 und 80 kg N/ha. In beiden Versuchsjahren wurde Einjähriges Weidelgras in drei Aufwüchsen insgesamt fünfmal geerntet und getrocknet. Von Perser- und Alexandrinerklee konnten jeweils 2 Aufwüchse geerntet werden. 1987 mußte bei den Kleearten die Trocknung des ersten Aufwuchses aus Witterungsgründen entfallen.

2.4 Versuchsdurchführung

In beiden Versuchsjahren wurden stets die direkt miteinander zu vergleichenden Gräserarten bzw. Kleearten am jeweils gleichen Tag geschnitten, um unter identischen Trocknungsbedingungen auf dem Feld (Witterung; mechanische Bearbeitung; Vorwelkdauer) und unter Dach (Wasseraufnahmefähigkeit der Trocknungsluft) getrocknet zu werden. Das Erntegut wurde vormittags gemäht und gezettet, dann mehrmals gewendet und bei einem angestrebten Restfeuchtegehalt von ca. 50 % in die Unterdach-Trocknungsanlage eingelagert. Um Verdichtungszone zu vermeiden, wurden die Trocknungsbehälter von Hand locker und gleichmäßig befüllt. Das Welkgut jeder Pflanzenart bzw. -sorte wurde gleichzeitig bei 3 konstanten Temperaturen der Trocknungsluft von 20 °C, 30 °C und 50 °C ohne Unterbrechung bis zum Ende des Trocknungsprozesses belüftet. Kältere Außenluft wurde auf die gewünschte Trocknungstemperatur erwärmt, wärmere Außenluft unverändert belassen. Die Luftgeschwindigkeit war einheitlich 0,17 m/sec (1987) bzw. 0,20 m/sec (1988).

Von allen untersuchten Pflanzenmaterialien wurde beim Schnitt das Entwicklungsstadium klar definiert (bei Gräsern nach SIMON und PARK (1981), und der Frischmas-

seertrag pro Flächeneinheit durch Probeschnitte (4 mal 6,25 m²) festgestellt. Der Wassergehalt der Pflanzen wurde beim Schnitt sowie beim Ein- und Auslagern unter Dach bestimmt. Durch Wiegen der Trocknungsbehälter beim Einlagern und während des Trocknungsverlaufs wurde pro Behälter sowohl die eingelagerte Menge an Welkgut als auch die Wasserabgabe im zeitlichen Verlauf gemessen. Die Zu- und Abluftzustände der Trocknungsluft wurden kontinuierlich registriert.

In Versuchsserie 1 (1987) wurden die Trocknungsbehälter einheitlich auf eine Schütthöhe von 1,50 befüllt. In Versuchsserie 2 (1988) wurde angestrebt, die äußeren indirekten Einflußfaktoren auf das Trocknungsverhalten der Futterpflanzen auf dem Feld und unter Dach zu vereinheitlichen. Unterschiede im Grünmasseertrag zwischen den zu vergleichenden Gräserarten bzw. Kleearten von mehr als 10 % wurden dem jeweilig höheren Ertragsniveau angeglichen. Beim Bergen des Futters wurde das Welkgut mit dem Grundschnidwerk eines Ladewagens (16 Messer im Abstand von 8 cm) geschnitten, um die pflanzenbedingt unterschiedliche Lagerungsdichte in den Trocknungsbehältern zu vermindern. Um die Trocknungsbedingungen bestmöglich zu standardisieren, wurde stets eine einheitliche Menge an Welkgut (75 kg bei Gräsern, 100 kg bei Leguminosen) in die Trocknungsbehälter eingelagert und die Schütthöhe festgestellt.

3. Ergebnisse

3.1 Vortrocknung auf dem Feld

In Übersicht 1 sind die wichtigsten Kenndaten zur Charakterisierung der Pflanzenmaterialien beim Schnitt und beim Einlagern unter Dach zusammengestellt. In beiden Versuchsserien konnten die ausgewählten Gräserarten bzw. Leguminosenarten in vergleichbaren Entwicklungsstadien (Gräser: Code 51-60 "Ährenschieben", Code 61-69 "Blüte"; Leguminosen "vor" bzw. "in der Blüte") genutzt werden. Zwischen den Gräserarten bzw. Leguminosenarten waren beim Schnitt Unterschiede im Wassergehalt und im Frischmasseertrag festzustellen. Die tetraploide Sorte des Einjährigen Weidelgrases wies im Durchschnitt einen geringfügig höheren Wassergehalt auf als die diploide Vergleichssorte. Bei insgesamt höherem Wassergehalt des Klees war der Persische Klee wasserreicher als der Alexandrinerklee. Der Ertrag des tetraploiden Einjährigen Weidelgrases übertraf in der Regel den des diploiden. Nach einer regenfreien Vortrocknungsperiode auf dem Feld konnten die Gräser in der Regel am Tag nach dem Schnitt zur Weitertrocknung unter Dach eingelagert werden. Die Leguminosen benötigten bei gutem Ertragsniveau einen Tag länger zur Vortrocknung, insbesondere wenn wie in Versuchsserie 2 ein den Gräsern vergleichbarer Anwelkgrad angestrebt wurde.

Während des Vortrocknens auf dem Feld vergrößerte sich die Differenz im Wassergehalt zwischen diploidem und tetraploidem Einjährigen Weidelgras. In Versuchsserie 1 war dies zu den ersten Schnitterminen im 1. und 2. Aufwuchs deutlich ausgeprägt, wobei neben den höheren Anfangsfeuchten insbesondere die höhere Grüngutauflage pro Flächeneinheit bei Aufwuchs 1 Schnitt 1 die Abtrocknungsleistung der tetraploiden

Sorte verschlechtert haben dürfte. Auch wenn der Einfluß des stark unterschiedlichen Grünmasseertrages ausgeschaltet wird, wie in Versuchsserie 2, enthält das tetraploide Erntegut bei der Einlagerung um durchschnittlich 4 Prozentpunkte mehr Wasser als das diploide. Auch die Kleearten wiesen bei ausgeglichenen Frischmasseerträgen in praxisüblicher Höhe (Versuchsserie 2) deutliche Unterschiede im erzielten Anwelkgrad auf. Perserklee war nach einheitlicher Vorwelkdauer deutlich feuchter als Alexandrinerklee. Im 1. Aufwuchs dürfte eine schlechtere Wasserabgabe und im 2. Aufwuchs sowohl eine höhere Anfangsfeuchte als auch eine schlechtere Wasserabgabe vorgelegen haben.

Übersicht 1: Kennzahlen zur Charakterisierung des Pflanzenmaterials beim Schnitt und beim Einlagern unter Dach

| 1.1 Versuchsserie 1: | | | | | | | | | | | |
|--|------------------------|---------------------|-------|---------------------|-------|-----------|-----------|-----------------|---------------------|-------|-----------|
| Pflanzenart | Einjähriges Weidelgras | | | | | | Klee | | | | |
| Aufwuchs/Schnittzeitpunkt | 1/1 | 1/2 | 2/1 | 2/2 | 3/1 | \bar{x} | 1/1 | 2/1 | | | |
| Erntetag 1987 | 6.7. | 14.7. | 12.8. | 17.8 | 17.9 | | | 9.9 | | | |
| Entwicklungsstadium ¹⁾ | D ²⁾ | 53 | 60 | 61 | 65 | 65 | | P ⁴⁾ | Beginn | | |
| | T ³⁾ | 59 | 65 | 61 | 65 | 65 | | A ⁵⁾ | Blüte | | |
| Ertrag (dt FM/ha) | D | 161,6 | 259,4 | 118,1 | 139,0 | 91,2 | 153,9 | P | 130,4 | | |
| | T | 233,1 | 258,6 | 112,8 | 145,4 | 93,7 | 168,7 | A | 98,1 | | |
| Wassergehalt beim Schnitt (%) | D | 82,8 | 80,8 | 83,4 | 81,8 | 84,1 | 82,6 | P | 88,5 | | |
| | T | 83,7 | 79,7 | 85,2 | 82,6 | 84,2 | 83,1 | A | 84,5 | | |
| Wassergehalt beim Einlagern unter Dach (%) | D | 50,6 | 59,9 | 57,9 | 51,5 | 58,9 | 55,8 | P | 68,3 | | |
| | T | 60,0 | 60,9 | 60,0 | 50,0 | 59,7 | 58,1 | A | 67,3 | | |
| Dauer der Feldperiode (Stunden) | | 25 | 25 | 31 | 79 | 26 | | | 30 | | |
| Regen! | | | | | | | | | | | |
| 1.2 Versuchsserie 2: | | | | | | | | | | | |
| Erntetag 1988 | | 14.6. | 20.6. | 25.7. | 8.8. | 26.9 | \bar{x} | | 28.6 | 30.8 | \bar{x} |
| Entwicklungsstadium ¹⁾ | D ²⁾ | 57 | 59 | 63 | 69 | 62 | | P ⁴⁾ | Mitte Blüte | | |
| | T ³⁾ | 60 | 62 | 63 | 69 | 65 | | A ⁵⁾ | vor Blüte | | |
| Ertrag (dt FM/ha) | D | 267,6 | 266,3 | 252,4 | 190,0 | 138,0 | 222,9 | P | 315,0 | 207,0 | 261,0 |
| | T | 321,6 ⁶⁾ | 267,0 | 286,3 ⁶⁾ | 207,0 | 143,0 | 245,0 | A | 353,0 ⁶⁾ | 214,0 | 283,7 |
| Wassergehalt beim Schnitt (%) | D | 86,2 | 83,1 | 84,2 | 75,9 | 82,3 | 82,3 | P | 90,2 | 89,0 | 89,6 |
| | T | 86,2 | 84,6 | 85,6 | 77,2 | 82,2 | 83,2 | A | 91,1 | 86,0 | 88,6 |
| Wassergehalt beim Einlagern unter Dach (%) | D | 47,7 | 52,1 | 41,3 | 41,3 | 48,2 | 46,1 | P | 45,6 | 52,6 | 49,1 |
| | T | 51,5 | 55,5 | 51,5 | 45,2 | 48,2 | 50,4 | A | 40,9 | 38,8 | 39,9 |
| Dauer der Feldperiode (Stunden) | | 31 | 32 | 27 | 8 | 31 | | | 56 | 54 | |
| 1) bei Gräsern nach SIMON und PARK (1981) 5) = Alexandrinerklee 2) = diploid 6) Ertrag (dt FM/ha) der Vergleichsplanzen wurde auf dieses Ertragsniveau angehoben 3) = tetraploid 4) = Persischer Klee | | | | | | | | | | | |

3.2 Belüftungstrocknung unter Dach

Zu Beginn der Belüftungstrocknung unter Dach unterscheidet sich das Trocknungsgut neben der Einlagerungsfeuchte auch deutlich in seiner Schüttdichte (siehe Übersicht 2). Bei Gras hatte insbesondere das Pflanzenalter einen starken Einfluß auf die Lagerdichte. Ältere Pflanzen sind sperriger und lagern bei gleicher Schütthöhe aufgrund einer um 33 % bzw. 47 % reduzierten Füllmenge (Versuchsserie 1) deutlich lockerer. Durch das Zerkleinern des Welkgutes und das Einlagern einer jeweils gleichen Menge an Trocknungsgut (Versuchsserie 2) ließ sich der starke pflanzenbedingte Einfluß auf die Lagerdichte eliminieren. Bei den Kleearten lagerte Perserklee deutlich dichter als Alexandrinerklee, und zwar nicht nur bei ungeschnittenem, sondern auch bei geschnittenem Welkgut.

Übersicht 2: Kennzahlen zur Charakterisierung der Schüttung in der Unterdach-Trocknungsanlage

| 2.1 Versuchsserie 1: Eingelagerte Menge an ungeschnittenem Welkgut bei einheitlicher Schütthöhe von 1,50 m pro Trocknungsbehälter | | | | | | | | |
|--|---------------------------|----------------------|-------|--------|--------|--------|--------|-------------------|
| Pflanzenart | Einjähriges Weidelgras | | | | | | Klee | |
| | Aufwuchs/Schnittzeitpunkt | 1/1 | 1/2 | 2/1 | 2/2 | 3/1 | 2/1 | 2/1 |
| Füllmenge (kg) | D | 136 | 90 | 149 | 86 | 162 | P | 197 ¹⁾ |
| | T | 132 | 89 | 168 | 83 | 158 | A | 193 ²⁾ |
| 1) Schütthöhe 1,20 m | | 2) Schütthöhe 1,40 m | | | | | | |
| 2.2 Versuchsserie 2: Schütthöhe des eingelagerten geschnittenen Welkgutes bei einheitlicher Füllmenge (von 75 kg Gras bzw. 100 kg Klee) pro Trocknungsbehälter | | | | | | | | |
| Pflanzenart | Einjähriges Weidelgras | | | Klee | | | | |
| | Aufwuchs | 1/1+2 | 2/1+2 | 3/1 | 1/1 | | 2/1 | |
| Schütthöhe (m) | 1,20 | 1,40 | 1,10 | P 1,20 | A 1,50 | P 0,90 | A 1,40 | |

Zwischen den beiden Gräserarten bzw. den Leguminosenarten waren in Versuchsserie 1 bei gleicher Schütthöhe zu den einzelnen Trocknungsterminen sehr deutliche Unterschiede in der stündlichen Wasserabgabe des Welkgutes festzustellen (siehe Übersicht 4), und zwar in Abhängigkeit von der Trocknungstemperatur. Den weiteren Ausführungen liegen die Einzelergebnisse der Versuchsserie 2 zugrunde.

Durch die Belüftung des Welkgutes wurden im Trocknungsgut die angestrebten Restfeuchten von ca. 16 % erzielt. Nur beim Persischen Klee stellte sich in Aufwuchs 1

bei der niedrigsten Trocknungstemperatur Gleichgewichtsfeuchte bei 22 % ein. Bei der 50 °C-Trocknung wurden aus versuchstechnischen Gründen durchweg niedrigere Restfeuchten erzielt. Die für das Erreichen der angestrebten Endfeuchte erforderliche Belüftungszeit variierte vor allem im niedrigen Temperaturbereich sehr stark je nach Pflanzenmaterial und Schnitt- bzw. Trocknungstermin. Bei der 20 °C-Temperatur betrug sie 23 bis 86 Stunden, bei 30 °C 14 bis 42 Stunden und bei 50 °C 14 bis 19 Stunden. Mit der Steigerung der Trocknungstemperatur von 20 °C auf 30 °C und 50 °C erhöht sich das mittlere Wasseraufnahmevermögen der Trocknungsluft (siehe Übersicht 3) im Verhältnis von 1:2:5. Die in den einzelnen Trocknungsversuchen an 75 bzw. 100 kg Welkgut festgestellte stündliche Wasserabgabe des Trocknungsgutes (siehe Übersicht 4) erhöhte sich im Mittel im nahezu gleichen Verhältnis.

Übersicht 3: Wasseraufnahmevermögen der Trocknungsluft im Mittel über die einzelnen Trocknungsversuche im Vegetationsablauf 1987 und 1988

| | | | |
|--|----------------------|----------------------|----------------------|
| Temperaturerhöhung auf Wasseraufnahmevermögen (g Wasser/kg Trocknungsluft) | 20 °C 1,1 bis 2,0 | 30 °C 3,0 bis 4,2 | 50 °C 8,0 bis 9,1 |
|--|----------------------|----------------------|----------------------|

Beim Vergleich der Pflanzenarten bzw. -sorten ist der Einfluß unterschiedlicher Wassergehalte beim Einlagern auf die während eines Trocknungsprozesses festgestellte mittlere Wasserabgabe pro Zeiteinheit zu berücksichtigen. Tetraploides Einjähriges Weidelgras zeigte im ersten Schnitt des 2. Aufwuchses durchweg die größte Überlegenheit in der stündlichen Wasserabgabe. Wurde der hier deutlich höhere Ausgangswassergehalt und die dadurch leichtere Wasserabgabe zu Trocknungsbeginn aus der Kenntnis des Trocknungsverlaufs heraus nicht berücksichtigt, zeigte sich kein deutlich besseres Wasserabgabevermögen der tetraploiden Pflanzen. Perserklee wurde im 2. Aufwuchs mit 52,6 % deutlich feuchter eingelagert als Alexandrinerklee mit 38,8 %. Wurde das Wasserabgabevermögen des Persischen Klees rechnerisch aufgrund des festgestellten Trocknungsverlaufs ab einem ähnlichen Ausgangswassergehalt verglichen (20 °C-Trocknung: 38,8 % Ausgangswassergehalt, 0,47 kg/h Wasserabgabe; 30 °C-Trocknung: 32,2 % Ausgangswassergehalt, 0,68 kg/h Wasserabgabe), ergab sich für den Perserklee eine im Vergleich zu Alexandrinerklee noch schlechtere mittlere Wasserabgabe.

Beim Vergleich der beiden Versuchsserien zeigte sich, daß sich an geschnittenem Welkgut unter einheitlicheren Trocknungsbedingungen der Versuchsserie 2 die Unterschiede im Wasserabgabevermögen, insbesondere zwischen den Gräsersorten, deutlich vermindert haben. In Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Versuchsserie 1 war dennoch festzustellen, daß das tetraploide Einjährige Weidelgras bei der 20 °C-Temperatur eher leichter Wasser abgab als die diploide Vergleichssorte, demgegenüber aber bei der 30 °C-Trocknung eher eine schlechtere Wasserabgabe zeigte, insbesondere das relativ ältere Pflanzenmaterial des 1. Aufwuchses. Wurde die

Trocknungsluft auf 50 °C erwärmt, wiesen die tetraploiden Pflanzen in der Regel ein vergleichsweise höheres Wasserabgabevermögen auf. Auch zwischen den Leguminosenarten variierte die Rate der stündlichen Wasserabgabe mit der Höhe der Trocknungstemperatur. Bei niedriger Temperatur gab Alexandrinerklee pro Stunde deutlich mehr Wasser als Persischer Klee ab. Bei 50 °C-Trocknung glich sich das Wasserabgabevermögen in beiden Versuchsserien dem des Perserklees an bzw. wurde geringer.

Übersicht 4: Stündlich abgegebene Wassermenge (kg/h) während der Trocknung unter Dach

| 4.1 Einjähriges Weidelgras | | | | | | | | | |
|---|-------|------|-------|------|-------|------|------|------|--|
| stündlich abgegebene Wassermenge (kg/h) | | | | | | | | | |
| Versuchsserie 1: Aufwuchs/ Schnittzeitpunkt | 20 °C | | 30 °C | | 50 °C | | x | | |
| | D | T | D | T | D | T | D | T | |
| 1/2 | 0,58 | 0,61 | 1,10 | 0,73 | 2,43 | 2,29 | 1,37 | 1,21 | |
| 2/1 | 0,80 | 0,98 | 1,56 | 1,34 | 2,88 | 3,45 | 1,75 | 1,92 | |
| 2/2 | 0,54 | 0,49 | 0,91 | 0,87 | 2,28 | 2,48 | 1,24 | 1,28 | |
| 3/1 | 0,90 | 0,85 | 1,75 | 1,15 | 3,58 | 3,32 | 2,08 | 1,77 | |
| \bar{x} | 0,71 | 0,73 | 1,33 | 1,02 | 2,79 | 2,89 | 1,61 | 1,55 | |
| Versuchsserie 2: | | | | | | | | | |
| 1/1 | 0,72 | 0,67 | 1,21 | 1,25 | 2,22 | 2,33 | 1,38 | 1,42 | |
| 1/2 | 0,54 | 0,56 | 1,41 | 0,93 | 2,54 | 2,69 | 1,50 | 1,39 | |
| 2/1 | 0,57 | 0,73 | 0,86 | 1,16 | 1,55 | 1,94 | 0,99 | 1,28 | |
| 2/2 | 0,55 | 0,58 | 1,23 | 1,17 | 2,01 | 2,19 | 1,26 | 1,31 | |
| 3/1 | 0,37 | 0,40 | 0,77 | 0,68 | 2,16 | 2,10 | 1,10 | 1,06 | |
| \bar{x} | 0,55 | 0,58 | 1,09 | 1,03 | 2,09 | 2,25 | 1,25 | 1,29 | |
| 4.2 Klee | | | | | | | | | |
| Versuchsserie 1: Aufwuchs | 20 °C | | 30 °C | | 50 °C | | x | | |
| | P | A | P | A | P | A | P | A | |
| 1 | 1,25 | 0,93 | 1,41 | 1,54 | 3,11 | 2,64 | 1,92 | 1,70 | |
| Versuchsserie 2: | | | | | | | | | |
| 1 | 0,39 | 0,66 | 1,55 | 2,11 | 2,89 | 2,88 | 1,61 | 1,88 | |
| $\underline{2}$ | 0,70 | 0,98 | 1,17 | 1,79 | 2,37 | 2,20 | 1,41 | 1,66 | |
| \bar{x} | 0,55 | 0,82 | 1,36 | 1,95 | 2,63 | 2,54 | 1,51 | 1,77 | |

Bei den Gräsern zeigte sich zu den einzelnen Versuchen innerhalb der Aufwüchse auch ein mit der Trocknungstemperatur variiertes Wasserabgabevermögen (Übersicht 4). Physiologisch ältere Pflanzen gaben bei 20 °C-Trocknung pro Stunde deutlich weniger und bei stark erwärmter Trocknungsluft deutlich mehr Wasser ab als jüngere Pflanzen. Bei der Belüftung mit auf 30 °C erwärmter Luft gaben die diploiden älteren Pflanzen leichter Wasser ab als die jüngeren, während bei den tetraploiden älteren Pflanzen dieser Anwärmgrad noch zu keinem besseren Wasserabgabevermögen im Vergleich zu jüngeren Pflanzen führte.

Werden die Trocknungsergebnisse der Gräser über die 5 Schnittermine pro Temperaturstufe betrachtet, zeigte sich bei den Pflanzen des 1. Aufwuchses insgesamt eine höhere stündliche Wasserabgabe als im 2. Aufwuchs. Die Gräser des Herbstaufwuchses zeigten das niedrigste Wasserabgabevermögen, allerdings nur bei den niedrigen Temperaturstufen.

4. Diskussion

Das Wasserabgabevermögen von Futterpflanzen wird durch das Zusammenspiel aller individuellen, stofflichen Eigenschaften bestimmt (KÖHLER, 1965). Die Untersuchung art- und sortentypischer Unterschiede erfolgte bislang unter Laborbedingungen an dünnen Schichten nicht vorgewelkter Futterpflanzen (HÜBNER und WAGNER, 1975; JONES und PRICKETT, 1981; OWEN und WILMAN, 1983; u.a.). Bei Übertragung der Ergebnisse auf praxisübliche Konservierungsbedingungen auf dem Feld und unter Dach ist zu berücksichtigen, daß die Pflanzen aufgrund von Unterschieden im Frischmasseertrag sowie in der Lagerdichte veränderten Trocknungsbedingungen ausgesetzt sind, und sich dadurch Unterschiede im Wasserabgabevermögen ergeben können. Die durchgeführten Versuche sollten Aussagen über das art- und sortentypische Wasserabgabevermögen, aber auch über diese Unterschiede in den äußeren Trocknungsbedingungen mit ihrer Auswirkung auf das Trocknungsverhalten, ermöglichen. Als Modellpflanzen waren das Einjährige Weidelgras, bei dem mögliche Unterschiede im Trocknungsverhalten zwischen diploiden und tetraploiden Sortentypen interessierten, sowie die beiden einjährigen Futterleguminosen Alexandrinerklee und Persischer Klee ausgewählt worden.

4.1 Zum Wasserabgabevermögen bei der Vortrocknung auf dem Feld

Das Trocknungsverhalten auf dem Feld wird durch die Pflanzenart und -sorte, das Entwicklungsstadium, den Ausgangswassergehalt sowie durch den Masseertrag bestimmt. Die beispielhaft ausgewählten Gräser und Leguminosen unterscheiden sich zu den einzelnen Schnitterminen trotz ähnlicher Entwicklungsstadien gerade hinsichtlich dieser Kriterien. Bei einheitlichen Vortrocknungsbedingungen sind aufgrund dessen zwischen den direkt zu vergleichenden Pflanzenarten bzw. -sorten deutliche Unterschiede im erzielten Anwelkgrad festzustellen.

Der negative Einfluß eines deutlich höheren Frischmasseertrages auf die Trocknungsgeschwindigkeit der Pflanzen und der nach einheitlicher Vortrocknungszeit daraus sich ergebende geringere Anwelkgrad wurde durch OLFE (1971) nachgewiesen. Dieser Effekt dürfte sich im 1. Trocknungsversuch der Versuchsserie 1 bei dem im Trend ertragreicheren tetraploiden Einjährigen Weidelgras ausgedrückt haben. Wird dieser äußere Einflußfaktor durch Nivellierung pflanzenspezifischer Unterschiede im Frischmasseertrag eliminiert, ist neben dem art- und sortentypischen Wasserabgabevermögen, vermengt mit dem Einfluß der Pflanzenstruktur auf die Lagerdichte des Mähgutes, der Wassergehalt beim Schnitt zu berücksichtigen. BECKHOFF (1975) stellte bei Welschem Weidelgras, bei einheitlichem Ertragsniveau und gleicher Vorwelkdauer, beim tetraploiden Sortentyp am Ende der Feldtrocknungsperiode einen deutlich höheren Wassergehalt als beim diploiden fest. Der Autor führt dies auf den schon beim Schnitt in der Regel höheren Wassergehalt tetraploider Sorten (SIMON, 1970; BUNDESSORTENAMT, 1989), aber nicht auf ein pflanzenspezifisch schlechteres Wasserabgabevermögen zurück. Unsere vorläufigen Ergebnisse von vergleichbaren Trocknungsversuchen im Freien aus dem Jahr 1990 stehen mit diesen Ergebnissen in Einklang. Denn zu verschiedenen Ernteterminen im 1. und 2. Aufwuchs zeigte sich, daß tetraploides Einjähriges Weidelgras beim Schnitt und nach dem Vorwelken deutlich feuchter war als die diploide Vergleichssorte. Dabei gaben die tetraploiden Pflanzen bei gleicher Frischgutmenge pro Flächeneinheit zu keinem Termin weniger Wasser ab. Vorliegende Ergebnisse stimmen damit, von zwei Ausnahmen in Versuchsserie 2 abgesehen, gut überein.

In Übereinstimmung mit den vorläufigen Ergebnissen unserer Bodentrocknungsversuche zeigt sich auch, daß Perserklee im Vergleich zu Alexandrinerklee beim Schnitt feuchter ist (ROSS, 1990; KEIM, 1991) und nach gleichen Vortrocknungsbedingungen eine noch deutlich höhere Endfeuchte aufweist. Ergebnisse der Versuchsserie 2 deuten neben dem höheren Ausgangswassergehalt auch auf eine schlechtere Wasserabgabe des Perserklees hin. Dies stimmt mit der Beobachtung überein, daß das Mähgut des Perserklees aufgrund seiner weichen, hohlen Stengel und seines höheren Feuchtegehaltes in einer wesentlich dichteren Schicht auf dem Feld liegt als Alexandrinerklee und somit pflanzenspezifisch ungünstigere Trocknungsbedingungen aufweisen dürfte.

4.2 Zum Wasserabgabevermögen bei der Endtrocknung unter Dach mit verschieden stark angewärmter Luft

4.2.1 Art- und sortentypische äußere Einflußfaktoren auf das Wasserabgabevermögen

Das Trocknungsverhalten von Futterpflanzen unter Dach wird von pflanzenspezifischen, äußeren Faktoren mitbestimmt. Dabei ist die mechanische Aufbereitung, die Einlagerungsfeuchte sowie die Schüttdichte der Pflanzen zu berücksichtigen.

Die Schüttdichte variiert deutlich mit dem Wachstumsstadium der Gräser bzw. mit der Kleeart. Mit fortschreitender Entwicklung ändert sich ihre Struktur. Älteres Gras hat bei einem insgesamt höheren Anteil an Zellwandbestandteilen sperrigere Stengel, die insbesondere in den ersten Aufwüchsen auch länger sind, so daß solches Welkgut bei lockerer und gleichmäßiger Einlagerung eine geringere Schüttdichte aufweist als das

jüngerer Pflanzen. Zwischen den untersuchten Kleearten sind die pflanzenstrukturellen Unterschiede besonders deutlich ausgeprägt. Alexandrinerklee besitzt bei durchweg höheren Gehalten an Gerüstsubstanzen grundsätzlich sperrigere Stengel, die verstärkt durch den insgesamt höheren Trockensubstanzgehalt beim Einlagern eine wesentlich lockerere Schüttung bewirken als Welkgut des Persischen Klees.

Je lockerer Welkgut im Trocknungsbehälter lagert, desto schneller kann es von der Trocknungsluft durchströmt werden, so daß damit auch eine raschere Trocknung des Materials verbunden sein dürfte. Umgekehrt wird eine dichte Lagerung der Pflanzen die Wasserabgabe erschweren (SCHÖLLHORN und HILBERT, 1970). Perserklee neigt aufgrund seiner weichen hohlen Stengel und seines relativ hohen Wassergehaltes zum Dichtlagern, was seine Trocknungseignung beeinträchtigt. Bei niedriger Temperatur verzögert sich die Endtrocknung sehr stark bzw. kann nicht verläßlich abgeschlossen werden, wie die Ergebnisse der Versuchsserie 2 zeigen. Durch Schneiden des Welkgutes werden einheitlichere Schüttdichten erzielt, zumindest bei den Gräsern verschiedenen Alters. Bei den Kleearten bleibt die deutlich geringere Schüttdichte des Alexandrinerklees auch nach dem Zerkleinern erhalten, woraus zu schließen ist, daß Alexandrinerklee sowohl in ungeschnittenem als auch in geschnittenem Zustand günstigeren Trocknungsbedingungen ausgesetzt ist als Persischer Klee.

Bei Schneiden des Welkgutes ist nicht nur eine Veränderung in der Schüttdichte zu berücksichtigen. Es ist anzunehmen, daß durch die zusätzlichen Verdunstungsflächen die Unterschiede im pflanzenspezifischen Wasserabgabevermögen verringert werden. Darauf deuten jedenfalls die Ergebnisse der Versuchsserien 1 und 2 hin. Denn die Wasserabgabe erfolgt über die intakte Kutikula der Pflanzenepidermis um ein Vielfaches schwerer als über Schnittstellen, an denen eine direkte Verdunstung erfolgt (SCHNEIDER, 1955).

Wenn wie in unseren Untersuchungen sich das Pflanzenmaterial trotz einheitlicher Trocknungsbedingungen während der Feldperiode in seinem Wassergehalt beim Einlagern unter Dach zum Teil deutlich unterscheidet, muß dieser Umstand bei der Bewertung des art- bzw. sortentypischen Wasserabgabevermögens berücksichtigt werden. Denn je höher der Wassergehalt zu Beginn der Belüftung ist, desto größer ist in den folgenden Zeitabschnitten die Wasserabgabe (KRISCHER, 1963). Unsere Ergebnisse bestätigen dies. Wird dieser indirekte, äußere Einflußfaktor nicht berücksichtigt, besteht die Gefahr der Fehlinterpretation der Ergebnisse.

4.2.2 Art- und sortentypisches Wasserabgabevermögen bei verschieden stark angewärmter Luft

Mit Erhöhung der Trocknungstemperatur auf bis zu 50 °C erhöht sich das Trocknungspotential der Luft sehr deutlich und wird zunehmend konstanter und unabhängiger von den Bedingungen atmosphärischer Außenluft (SCHÖLLHORN und HILBERT, 1970). In Übereinstimmung mit neueren Laboruntersuchungen von KEIM (1991) verhält sich das Wasserabgabevermögen von Pflanzen nicht bei allen Temperaturstufen gleichsinnig. Dieser Effekt zeigt sich in vorliegender Arbeit nicht nur bei der Trocknung von Pflanzenarten bzw. -sorten in vergleichbaren Wachstumsstadien, sondern auch beim Vergleich jüngerer und älteren Grases sowie beim Vergleich des Wasserabgabevermögens verschiedener Aufwüchse im Ablauf der Vegetationsperiode.

Da das Wasserabgabevermögen unterschiedlich alten Grases in Abhängigkeit von der Lufttemperatur variiert, dürfte das unter diesen Konservierungsbedingungen festgestellte Trocknungsverhalten mit dem während der Bodentrocknung im Freien festgestellten (SPATZ et al., 1970) nur bedingt und am ehesten bei der Trocknung mit atmosphärischer bzw. nur gering erwärmter Luft vergleichbar sein. Dementsprechend wird Gras in fortgeschrittenem Entwicklungszustand bei der Trocknung mit kalter bzw. nur wenig angewärmter Luft ein schlechteres Wasserabgabevermögen haben, insbesondere wenn es gegen Ende der Trocknungsperiode um die Verdunstung der letzten Wasserprozentage geht (SPATZ et al., 1970). Bei der Trocknung mit stärker angewärmter Luft dürften dagegen pflanzenphysiologische Verhaltensweisen eher ausgeschaltet sein (KÖHLER, 1965). Dadurch könnte das bei 50 °C verbesserte Wasserabgabevermögen älteren im Vergleich zu jüngeren Grases und auch die nur bei dieser Temperaturstufe vergleichsweise leichtere Wasserabgabe von Gras des Herbstaufwuchses zu erklären sein.

TUNCER et al. (1970) stellte bei Deutschem Weidelgras bei etwa 50 °C eine sprunghaft höhere Wasserabgabe pro Zeiteinheit fest. Die Autoren vermuten, daß das nur bei dieser Temperaturstufe veränderte Wasserabgabevermögen in Strukturänderungen des Pflanzenmaterials, wie Koagulation des Eiweißes oder Schmelzen der Wachsschicht der Kutikula, begründet ist. Derartige Strukturveränderungen sind möglicherweise auch in vorliegender Untersuchung der Grund für das veränderte Trocknungsverhalten der Pflanzen bei einer Temperatur von 50 °C. Inwieweit der pflanzenstrukturelle biologische und chemische Aufbau auf das temperaturabhängig variierte Trocknungsverhalten von Bedeutung ist, bedarf weiterer Untersuchungen.

Es zeigt sich, daß auch unter praxisüblichen Trocknungsbedingungen auf dem Feld und unter Dach in Abhängigkeit von Pflanzenart und -sorte sowie Wachstumsstadium im Ablauf der Vegetationsperiode deutliche Unterschiede im Wasserabgabevermögen auftreten, die mit der Temperatur der Trocknungsluft variieren. Erste energiewirtschaftliche Untersuchungen (KAMMERL und SIMON, 1988) deuten darauf hin, daß diese botanischen Einflußgrößen bei der Endtrocknung mit verschiedenen stark angewärmter Luft die jeweils erforderlichen Belüftungszeiten und somit die entstehenden Trocknungskosten deutlich mitbestimmen. Weitere mehrjährig angelegte Versuchsserien mit wichtigen ausdauernden Futtergräsern sind vonnöten, um die getroffenen Aussagen zu überprüfen.

5. Zusammenfassung

Das Wasserabgabevermögen von di- und tetraploidem Einjährigen Weidelgras sowie von Perser- und Alexandrinerklee wurde im Verlauf der Vegetationsperioden 1987 und 1988 mehrmals in verschiedenen Aufwüchsen und Entwicklungsstadien geprüft. Während der Vortrocknung auf dem Feld und der Endtrocknung unter Dach bei Temperaturen der Trocknungsluft von 20 °C, 30 °C und 50 °C wurden in systematisch angelegten Modellversuchen sowohl die Einflüsse der Art bzw. Sorte des Pflanzal-

▲
sowie

ters als auch die Effekte des Wassergehaltes bei der Ernte, des Pflanzenertrags und der Lagerdichte auf das Trocknungsverhalten untersucht.

Die Gräserarten bzw. Kleearten unterscheiden sich sowohl auf dem Feld als auch bei Belüftungstrocknung unter Dach deutlich in ihrem Wasserabgabevermögen.

Bei der Vortrocknung auf dem Feld sind Unterschiede im Wassergehalt beim Schnitt, im Frischmasseertrag sowie in der Lagerdichte des Mähgutes von Einfluß auf das Trocknungsverhalten. Nach einheitlichem Vorwelken weist tetraploides Einjähriges Weidelgras einen höheren Wassergehalt auf als diploides; Perserklee ist deutlich wasserreicher als Alexandrinerklee.

Unter Dach wird das Wasserabgabevermögen durch Unterschiede im Ausgangswassergehalt und in der Schüttdichte beeinflußt. Mit Erhöhung der Trocknungstemperatur erhöht sich das Wasserabgabevermögen der Pflanzen im nahezu gleichen Verhältnis wie das Wasseraufnahmevermögen der Trocknungsluft. Allerdings zeigen die Pflanzen nicht bei jeder Trocknungstemperatur ein gleichsinniges Wasserabgabevermögen. So verbessert sich bei der Trocknung mit von 20 °C/30 °C auf 50 °C erwärmter Luft das Wasserabgabevermögen tetraploiden Einjährigen Weidelgrases im Vergleich zum diploiden sowie Persischen Klees im Vergleich zu Alexandrinerklee. Bei einer Lufttemperatur von 50 °C gibt Gras in fortgeschrittenem Entwicklungszustand leichter Wasser ab als jüngeres. Gras des Herbstaufwuchses zeigt nur bei dieser Temperaturstufe ein günstigeres Wasserabgabevermögen als Gräser des 1. und 2. Aufwuchses. Bei grundsätzlichen Aussagen zum Wasserabgabevermögen von Pflanzenarten und -sorten muß demnach die Trocknungstemperatur berücksichtigt werden.

Summary

On the Rate of Water Loss of Annual Forage Plants in Barn Drying with Heated Air of Different Temperatures

The rate of water loss of diploid and tetraploid annual ryegrass as well as of Persian clover and berseem clover was investigated during the vegetation periods of 1987 and 1988 in different growths and growth stages. During the pre-drying period in the field and the subsequent barn drying period at air temperatures of 20 °C, 30 °C and 50 °C, respectively, the influence of species/variety and of plant age as well as the effects of water content at the time of harvesting, of green matter yield and of the density of the plant layer on the drying behaviour of the plants were studied.

The varieties of grasses and species of clover differ clearly in their rate of water loss in the field as well as during barn drying.

During the pre-drying period in the field the drying behaviour is affected by differences in water content at the time of cutting, green matter yield, and the density of the plant layer. After equal pre-drying time tetraploid annual ryegrass retains a higher water content as compared with the diploid type; Persian clover contains remarkably more water than berseem clover.

During barn drying, the rate of water loss is determined by differences in initial water content and storage density. When the drying temperature is increased, the rate of water loss is proportional to the increase of the water absorption capacity of the drying air. The relative drying speed of the different plant materials may not remain the same when the drying temperature is increased. So, if the temperature level is raised from 20 °C/30 °C to 50 °C, the ability to lose water is improved in tetraploid annual ryegrass and Persian clover as compared to the diploid type and berseem clover, respectively. Grass of an advanced stage of growth loses water more rapidly than younger grass at 50 °C. At this temperature level the autumn grown grass dries faster than grass of the primary and the second growth. Therefore, the level of the drying temperature must be taken into account in generalizing statements on the drying properties of different plant species and varieties.

6. Literatur

BECKHOFF, J., 1975: Über das Trocknungsverhalten von diploiden und tetraploiden Weidelgräsern. Kali-Briefe 12, 4/7, 1-5.

BUNDESSORTENAMT 1989: Beschreibende Sortenliste für Gräser, Klee, Luzerne. Alfred Strothe Verlag, Frankfurt.

CLAUS, H.G., 1971a: Einfluß von mechanischer Aufbereitung, Schichtstärke, Temperatur und Luftgeschwindigkeit auf die Trocknung von Halmfutter im Warmluftbereich. Habilitationsschrift Göttingen.

CLAUS, H.G., 1971b: Versuche über die Warmlufttrocknung von Halmfutter in Satz Trocknungsanlagen. Grundl. Landtechnik 21, 65-69.

CLAUS, H.G., 1979: Planungsdaten für die Heubelüftung mit unterschiedlich stark erwärmter Luft. Landtechnik 12, 549-551.

CLAUS, H.G., 1989: Trocknen von Halmfutter. In: Trocknen und Trockner in der Produktion (ed. KRÖLL, K. und W. KAST), Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo.

EIMER, M., HARTMANN, D. und PRIGGE, H., 1981: Verderb durch Schimmel als Grenzbedingung für die Regelung von Halmgut-Satz Trocknungsanlagen. Grundl. Landtechnik 31, 29-36.

ELSÄSSER, M., 1985: Anwendungsorientierte Aspekte der Nutzung von Solarenergie für die Heubelüftung. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau, Aulendorf, 20-35.

HÜBNER, R. und WAGNER, F., 1975: Untersuchungen über den Trocknungsverlauf von Gräsern und Kleearten. Wirtschaftseig. Futter 21, 247-263.

JONES, L., 1979: The effect of stage of growth on the rate of drying of cut grass at 20 °C. Grass and Forage Sci. 34, 139-144.

JONES, L. und PRICKETT, J., 1981: The rate of water loss from cut grass of different species dried at 20 °C. Grass and Forage Sci. 36, 17-23.

- KAMMERL, R. und SIMON, U., 1988: Energiewirtschaftliche Untersuchungen zur Unterdach-trocknung von Futterpflanzen. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 1, 132-134.
- KEIM, B., 1991: Untersuchungen zum Wasserabgabevermögen verschiedener Futterpflanzen in Abhängigkeit von deren Entwicklungsstadium bei zwei Trocknungstemperaturen. Diplomarbeit. TU München-Weihenstephan.
- KOHLER, W., 1965: Das Trocknungsverhalten von Futterpflanzen. Wirtschaftseig. Futter 11, 291-312.
- KRISCHER, O., 1963: Die wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik, 1, Springer Verlag, Berlin.
- OLFE, H.CHR., 1971: Untersuchungen über die Korrespondenz der meteorologischen Daten mit den thermodynamischen Trocknungsmöglichkeiten von Halmfutter. KTBL-Bericht über Landtechnik 141.
- OWEN, I.G. und WILMAN, D., 1983: Differences between grass species and varieties in rate of drying at 25 °C. J. agric. Sci. Camb. 100, 629-636.
- ROSS, R., 1990: Untersuchungen zum Wasserabgabevermögen verschiedener Futtergräser und -leguminosen in Abhängigkeit von deren Entwicklungsstadium. Diplomarbeit TU München-Weihenstephan.
- SCHNEIDER, A., 1955: Untersuchungen über das charakteristische Trocknungsverhalten von Luzerne und Zuckerrübenblatt in Einzelschichten und durchströmten Schüttungen. Dissertation München.
- SCHÖLLHORN, J. und HILBERT, M., 1970: Zur Unterdach-trocknung mit stark angewärmter Luft. Wirtschaftseig. Futter 16, 230-238.
- SCHÖLLHORN, J., 1977: Zum Entwicklungsstand der Unterdach-Trocknung. Wirtschaftseig. Futter 23, 273-290.
- SIMON, U., 1970: Polyploidie und Futterpflanzenzüchtung. Bayer. descrip. Landw. Jahrb. 47, 131-159.
- SIMON, U. und PARK, B.H., 1981: A descriptive scheme for stages of development in perennial forage grasses. Proc. of the XIV. Intern. Grassland Congress, Lexington (USA), 416-418.
- SPATZ, G., VAN EIMERN, J. und LAWRYNOWICS, R., 1970: Der Trocknungsverlauf von Heu im Freiland. Bayer. Landw. Jahrbuch 47, 446-464.
- TUNCER, I.K., WIENEKE, F. und LEHMANN, D., 1970: Das Trocknungsverhalten einiger Futtergräser. Grundl. Landtechnik 20, 38-44.
- WIENEKE, F., 1972: Verfahrenstechnik der Halmfutterproduktion. Eigenverlag Göttingen.

Anschrift der Autoren:

Rita Kammerl u. U. Simon
 Lehrstuhl für Grünland und Futterbau
 D-8050 Freising-Weihenstephan